



ANSYS

ANSYS

ZAI SHUILI GONGCHENG ZHONG DE YINGYONG

在水利工程中的应用

王立成 洪慧俊 史世平 任智锋 马妹英 等著



黄河水利出版社

ANSYS 在水利工程中的应用

王立成 洪慧俊 史世平 任智锋 马妹英 等著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书结合一系列水利工程实例,系统而详细地介绍了 ANSYS 软件在水利工程中的应用及计算方法。全书分为 3 大部分共 12 章,包括 ANSYS 基础应用篇、APDL 语言篇和工程实例篇。ANSYS 基础应用篇主要介绍软件的功能、菜单命令选项及软件的建模基本过程,并介绍了两个简单结构静力学问题的完整分析过程,使读者大致了解 ANSYS 的基本分析步骤。APDL 语言篇介绍了软件参数化程序语言的特点、参数定义和用法等主要内容,该部分内容使读者熟悉命令流操作。工程实例篇分别介绍了水利工程设计中常见的水工建筑物的分析实例,该部分实例都是作者工作中的实际工程,计算结果已经应用于实际工程设计中,具有较好的参考价值。

本书可作为理工科院校土木、水工结构、力学和隧道等专业的本科生、研究生、博士生及教师学习 ANSYS 软件的学习教材,也可作为土木建筑工程、水利工程等专业的科研人员学习使用 ANSYS 的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 在水利工程中的应用/王立成等著. —郑州:黄河
水利出版社,2014. 12
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0293 - 0

I. ①A… II. ①王… III. ①水利工程 - 有限元分析 -
应用软件 IV. ①TV - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 303454 号

组稿编辑:简 群 电话:0371 - 66026749 E-mail:w_jq001@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsicbs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:32.75

插页:1

字数:757 千字

印数:1—1 000

版次:2014 年 12 月第 1 版

印次:2014 年 12 月第 1 次印刷

定价:95.00 元

前 言

随着计算机的飞速发展和广泛应用,以及有限元理论的日益完善,各种大型通用及专用有限元计算软件也得到长足的发展,在各个领域得到了广泛的应用。其中较为著名的通用大型有限元软件有 ANSYS、ALGOR、ABAQUS、MSC. MARC 和 MSC. NSTRAN 等。

ANSYS 作为世界知名的大型通用有限元分析软件,经过近 40 年的不断完善及应用推广,已经广泛应用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利和家电等各工程领域。ANSYS 软件是第一个通过 ISO9001 国际质量体系认证的大型分析设计类软件,是美国机械工程师协会(ASME)及美国核安全局(NQA)近 20 种专业技术委员会认证的标准分析软件。在国内第一个通过了中国压力容器标准化技术委员会认证并在国务院 17 个部委推广使用,是唯一被中国铁路机车车辆总公司选定为实现“三上”目标的有限元分析软件。

在国内,ANSYS 软件正逐步成为水利行业 CAE 仿真分析软件的主流,龙首电站大坝、二滩电站和三峡工程等都利用了 ANSYS 软件进行有限元仿真分析。与此同时,虽然目前市面上各种关于 ANSYS 分析软件的书籍不胜枚举,但专门供水利专业同行借鉴学习的 ANSYS 书籍却并不多见,作为水利工程师,作者根据自己多年来使用 ANSYS 的心得体会,总结并汇总相关分析实例编著了本书,旨在为学习 ANSYS 的水利同行提供一种思路。

本书所有实例均经过精心设计和筛选,剪表性剪,并具有实际的工程应用背景,每个实例都通过图形用户界面(部分实例提供了命令流)方式向读者做了详细的介绍。对于希望解决实际工程问题的高级用户而言,也可以通过参考其中类似实例的分析和求解过程圆满完成任剪。

本书以 ANSYS 11.0 为软件平台,共分 3 篇 12 个章节,具体内

容如下:

第1篇为 ANSYS 基础应用,分2个章节。

第1章概述,主要介绍 ANSYS 软件的发展过程和技术特点、程序功能、文件系统及 ANSYS 的结构分析过程。

第2章模型建立及实例详解,主要从 ANSYS 软件的特点出发,论述了 ANSYS 建模方法和网格划分方法,并从结构静力学的角度出发,论述了2个简单的结构静力学问题的完整分析过程。

第2篇为 APDL 语言,分1个章节。

第3章参数化程序设计语言 APDL 简述,介绍了 ANSYS 提供的参数化语言 APDL(ANSYS Parametric Design Language)的特点及参数定义、参数的用法、数据库操作、数学表达式、逻辑语法、分支及循环和宏等有关内容。

第3篇为工程实例,分9个章节。

第4~12章分别介绍了水利工程设计常见的水工建筑物的 ANSYS 有限元分析实例,内容包括箱涵、扶臂式挡墙、重力坝的结构分析,土石坝的渗流分析,水电站压力钢管岔管结构分析,隧洞结构分析,混凝土坝温控仿真分析及土石坝填筑施工仿真分析等的 GUI 具体操作步骤,并给出了 APDL 命令流。

本书可作为理工科院校土木、水工结构、力学和隧道等专业的本科生、研究生、博士生及教师学习 ANSYS 软件的学习教材,也可从事土木建筑工程、水利工程等专业的科研人员学习使用 ANSYS 的参考用书。

本书第1、2、3、8章由余新启、朱伟君、蒋志勇执笔,第4章由史世平执笔,第5章由王立成、马妹英执笔,第6、9章由任智锋、孟繁杰、阮建飞执笔,第7、12章由洪慧俊、吴云凤、柴玉梅执笔,第10、11章由韩强、庞书聪、程靖执笔,全书由王立成统稿。在本书编写过程中,王一帆、王春雷、杨亚楠、杨磊、翁嘉扬、王春雨、杨东雨等给予了大力的支持与帮助,在此表示感谢!

另外,在本书出版过程中,承蒙中水北方勘测设计研究有限责任公司编辑部王晓红、于荣海两位同仁以及黄河水利出版社给予的大力支持,谨致以衷心的感谢。

ANSYS 功能极为繁杂,本书不可能涉及每一个部分。而且由于编写时间仓促,书中难免存在错误和不足之处,欢迎广大读者和同行批评指正。

作 者
2014 年 8 月

目 录

前 言

第 1 篇 ANSYS 基础应用

1 概 述	(3)
1.1 ANSYS 简介	(3)
1.2 ANSYS 结构分析	(6)
2 模型建立及实例详解	(11)
2.1 建立模型过程	(11)
2.2 模型建立及求解实例	(31)

第 2 篇 APDL 语言

3 参数化程序设计语言 APDL 简述	(47)
3.1 APDL 语言概论	(47)
3.2 参数及菜单	(47)
3.3 参数及变量参数用法	(48)
3.4 数组参数的用法	(50)
3.5 表参数的用法	(56)
3.6 数据文件写出与读入	(59)
3.7 读取 ANSYS 数据库数据	(65)
3.8 数学表达式及流程控制	(74)
3.9 ADPL 宏	(75)

第 3 篇 工程实例

4 箱 涵	(83)
4.1 工程概况	(83)
4.2 GUI 操作方法	(84)
4.3 结果分析	(106)
4.4 箱涵结构计算命令流	(107)
4.5 例题延伸	(117)
5 大型扶臂式挡土墙分析	(118)
5.1 概述	(118)
5.2 工程概况	(118)

6	混凝土重力坝计算分析	(141)
6.1	概述	(141)
6.2	工程概况	(142)
7	渗流计算分析	(193)
7.1	概述	(193)
7.2	渗流方程与热传导方程的比较	(194)
7.3	渗流分析计算方法	(195)
7.4	渗流分析计算的 APDL 命令流	(197)
7.5	渗流分析算例	(202)
7.6	三维渗流计算	(221)
7.7	结论	(236)
8	高水头岔管计算分析	(237)
8.1	概述	(237)
8.2	工程概况	(238)
8.3	GUI 操作方法	(239)
8.4	结果处理与分析	(253)
8.5	岔管分析命令流	(256)
9	水工隧洞开挖衬砌计算分析	(265)
9.1	概述	(265)
9.2	隧洞设计理论	(266)
9.3	隧洞结构的数值计算方法	(268)
9.4	隧洞荷载	(268)
9.5	初始地应力的模拟	(269)
9.6	隧洞开挖与支护	(269)
9.7	工程实例	(269)
9.8	GUI 操作方法	(271)
9.9	计算结果分析	(298)
9.10	隧洞开挖衬砌分析命令流	(305)
10	混凝土重力坝温控计算分析	(326)
10.1	概述	(326)
10.2	计算原理、方法和程序	(326)
10.3	仿真流程	(330)
10.4	工程概况	(331)
10.5	基岩、混凝土参数指标	(332)
10.6	坝体温控分析命令流	(333)
10.7	结果处理与分析	(387)
11	土石坝计算分析	(395)
11.1	概述	(395)

11.2 碾压土石坝的计算分析 (396)

11.3 工程概况 (402)

11.4 模型的建立及求解 (403)

11.5 计算结果分析 (432)

12 拱坝封拱温度多目标优化 (433)

12.1 封拱温度优化原理简述 (433)

12.2 工程计算实例 (435)

第 1 篇

ANSYS 基础应用

1 概 述

1.1 ANSYS 简介

ANSYS 是一种融结构、热、流体、电磁和声学于一体的大型通用有限元软件,广泛应用于水利、铁路、汽车、造船和流体分析等工业领域,可在微机或工作站上运行,能够进行应力分析、热分析、流场分析和电磁场分析等多物理场分析及耦合分析,并且具有强大的前后处理功能。ANSYS 的流场分析求解模块 FLOTRAN 基于能量守恒、质量守恒和动量守恒,能求解流场速度、压力和温度分布等参数。利用 ANSYS 软件对于气密封面结构处的流场进行仿真分析,能够为气密封面结构的合理设计提供理论依据。是世界范围内增长最快的计算机辅助工程(CAE)软件,能与多数计算机辅助设计(CAD)软件接口,实现数据的共享和交换,如 Creo、NASTRAN、Alogor、I-DEAS、AutoCAD 等。ANSYS 功能强大,操作简单方便,现在已成为国际最流行的有限元分析软件,在历年的 FEA 评比中都名列第一。目前,中国 100 多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件,是现代产品设计中的高级 CAD 工具之一。

1.1.1 ANSYS 发展过程及技术特点

ANSYS 公司成立于 1970 年,总部设在美国的宾夕法尼亚州,目前是世界 CAE 行业中最大的公司。其创始人 John Swanson 博士为匹兹堡大学力学教授、有限元界权威。在 30 多年的发展过程中,ANSYS 不断改进提高,功能不断增强,目前最新的版本已发展到 14.0 版本,本书分析使用的是 ANSYS 11.0。长期以来一直致力于设计分析软件的开发、研制,其先进的技术及高质量的产品赢得了业界的广泛认可。在我国,ANSYS 用户也越来越多,三峡工程、二滩电站、黄河下游特大公路斜拉桥、国家大剧院、浦东国际机场、上海科技城太空城、深圳南湖路花园大厦等在结构设计时都采用了 ANSYS 作为分析工具。ANSYS 的界面非常友好,有些类似于 AutoCAD,其使用方法也和 AutoCAD 有相似的地方:菜单操作方法方式和命令流方式。菜单操作方法(Graphical User Interface)方式即通过点击菜单项,在弹出的对话框中输入参数并进行相应设置从而进行问题的分析和求解;命令流方式是指在 ANSYS 的命令流输入窗口输入求解所需的命令,通过执行这些命令来实现问题的解答。菜单操作方法方式较容易掌握,但是在熟悉了 ANSYS 的命令之后,使用命令流方式要比菜单操作方法方式效率高出许多。

1.1.2 ANSYS 软件的功能

ANSYS 软件主要包括三个部分:PREP7(通用前处理)模块、SOLUTION(求解)模块及 POST1(通用后处理)和 POST26(时间历程后处理)模块。

1.1.2.1 前处理功能

ANSYS 具有强大的实体建模技术。与现在流行的大多数 CAD 软件类似。通过自顶向下或自底向上两种方式,以及布尔运算、坐标变换、曲线构造、蒙皮技术、拖拉、旋转、拷

贝、镜射和倒角等多种手段,可以建立起真实地反映工程结构的复杂几何模型。

ANSYS 提供两种基本网格划分技术:智能网格和映射网格,分别适合于 ANSYS 初学者和高级使用者。智能网格、自适应、局部细分、层网格、网格随移和金字塔单元(六面体与四面体单元的过渡单元)等多种网格划分工具,帮助用户完成精确的有限元模型。

另外,ANSYS 还提供了与 CAD 软件专用的数据接口,能实现与 CAD 软件的无缝几何模型传递。这些 CAD 软件有 Pro/E、UG、CATIA、IDEAS、Solidwork、Solid edge、Inventor、MDT 等。ANSYS 还可以读取 SAT、STEP、ParaSolid、IGES 格式的图形标准文件。

此外,ANSYS 还具有近 200 种单元类型,这些丰富的单元特性能使用户方便而准确地构建出反映实际结构的仿真计算模型。

1.1.2.2 强大的求解器

ANSYS 提供了对各种物理场的分析,是目前唯一能融结构、热、电磁、流场和声学等为一体的有限元软件。除了常规的线性、非线性结构静力和动力分析之外,还可以解决高度非线性结构的动力分析、结构非线性及非线性屈曲分析。提供的多种求解器分别适用于不同的问题及不同的硬件配置。

1.1.2.3 后处理功能

ANSYS 的后处理用来观察 ANSYS 的分析结果。ANSYS 的后处理分为通用后处理模块和时间后处理模块两部分。后处理结果可能包括位移温度应力应变速度以及热流等,输出形式可以是图形显示和数据列表两种。ANSYS 还提供自动或手动时程计算结果处理的工具。

1.1.3 ANSYS 软件的主要功能

ANSYS 软件提供了对各种物理场量的分析,是一种能够融结构、热流体、电磁和声学于一体的大型通用有限元分析软件,其主要功能如下。

1.1.3.1 结构分析

结构分析是有限元分析方法最常用的一个应用领域。ANSYS 能够完成的结构分析有:结构静力分析;结构非线性分析;结构动力学分析;隐式、显示及显示-隐式-显示耦合求解。

1.1.3.2 热分析

热分析用于计算一个系统的温度等热物理量的分布及变化情况。ANSYS 能够完成的热分析有:稳态温度场分析;瞬态温度场分析;相变分析;辐射分析。

1.1.3.3 流体动力学分析

ANSYS 程序的 FLOTRAN CFD 分析功能能够进行二维及三维的流体瞬态和稳态动力学分析,其可以完成以下分析:层流、紊流分析;自由对流与强迫对流分析;可压缩流/不可压缩流分析;亚音速、跨音速、超音速流动分析;多组分流体分析;移动壁面及自由界面分析;牛顿流与非牛顿流体分析;内流和外流分析;分布阻尼和 FAN 模型;热辐射边界条件。管流。

1.1.3.4 电磁场分析

ANSYS 程序能分析电感、电容、涡流、电场分布、磁力线及能量损失等电磁场问题,也可用于螺线管、发电机、变压器和电解槽等装置的设计与分析。其内容主要包括:2D、3D

及轴对称静磁场分析;2D、3D 及轴对称时变磁场;交流磁场分析;静电场、AC 电场分析。

1.1.3.5 声学分析

ANSYS 程序能进行声波在含流体介质中的传播的研究,也能分析浸泡在流体中的固体结构的动态特性。其涉及范围包括:声波在容器内的流体介质中传播;声波在固体介质中的传播;水下结构的动力分析;无限表面吸收单元。

1.1.3.6 压电分析

用于二维或三维结构对 AC、DC 或任意随时间变化的电流或机械载荷的响应。主要研究内容如下:稳态、瞬态分析;谐响应分析;瞬态响应分析;交流、直流、时变电载荷或机械载荷分析。

1.1.3.7 多耦合场分析

多耦合场分析就是考虑两个或多个物理之间的相互作用。ANSYS 统一数据库及多物理场分析并存的特点保证了可方便的进行耦合场分析,允许的耦合类型有以下几种:热-应力;磁-热、磁-结构;流体流动-热;流体-结构;热-电;电-磁-热-流体-应力。

1.1.3.8 优化设计

优化设计是一种寻找最优设计方案的技术。ANSYS 程序提供多种优化方法,包括零阶方法和一阶方法等。对此,ANSYS 提供了一系列的分析—评估—修正的过程。此外,ANSYS 程序还提供一系列的优化工具以提高优化过程的效率。

1.1.3.9 用户编程扩展功能

用户可编辑特性(UPFS)是指,ANSYS 程序的开放结构允许用户连接自己编写的 FORTRAN 程序和子过程。UPFS 允许用户根据需要定制 ANSYS 程序,如用户自定义的材料性质、单元类型、失效准则等。通过连接自己的 FORTRAN 程序,用户可以生成一个针对自己特定计算机的 ANSYS 程序版本。

1.1.3.10 其他功能

ANSYS 程序支持的其他一些高级功能包括拓扑优化设计、自适应网格划分、子模型、子结构、单元的生和死。

1.1.4 ANSYS 文件系统

ANSYS 文件的形式为 Jobname. EXT,包括工作名和扩展名两部分。ANSYS 文件的工作名一般由用户定义,用于标识不同个体的差异,而扩展名由 ANSYS 程序定义,用于标识 ANSYS 文件的不同类型。典型的 ANSYS 文件包括如下内容。

日志文件(Jobname. LOG):当进入 ANSYS 时系统会打开日志文件。在 ANSYS 中键入的每个命令或是在菜单操作方法(图形用户界面)方式下执行的每个操作都会被复制到日志文件中,当退出 ANSYS 时系统会关闭该文件。使用/INPUT 命令读取日志文件可以对崩溃的系统或严重的用户错误进行恢复。

数据库文件(Jobname. DB):数据库文件是 ANSYS 软件中最重要的文件之一,它包含了所有的输入数据(单元、节点信息、初始条件、边界条件、载荷信息)和部分结果数据(通过 POST1 后处理器中读取)。

错误文件(Jobname. ERR):错误文件用于记录 ANSYS 发出的每个错误或警告信息。

如果 Jobname.ERR 文件在启动 ANSYS 之前已经存在,那么所有新的警告和错误信息都将追加到这个文件的后面。

输出文件(Jobname.OUT):输出文件会将 ANSYS 给出的响应捕获至用户执行的每个命令,而且还会记录警告、错误消息和一些结果。

结果文件(Jobname.RST、Jobname.RTH、Jobname.RMG):存储 ANSYS 计算结果的文件。其中 Jobname.RST 为结构分析结果文件;Jobname.RTH 为热分析结果文件;Jobname.RMG 为电磁分析结果文件。

1.2 ANSYS 结构分析

1.2.1 ANSYS 结构分析概述

结构分析的有限元分析方法是,用于确定结构的变形、应变、应力及反作用力。结构分析中计算得出的基本未知量(节点自由度)是位移。其他的一些未知量,如应变、应力和反力可通过节点位移导出。在 ANSYS 产品家族中有 7 种结构分析的类型,内容如下。

静力分析——用于静态载荷。可以考虑结构的线性及非线性行为,例如:大变形、大应变、应力刚化、接触、塑性、超弹及蠕变等。

屈曲分析——用于计算线性屈曲载荷并确定屈曲模态形状。同时可以实现非线性屈曲分析。

模态分析——计算线性结构的自振频率及振形。

谐响应分析——确定线性结构对随时间按正弦曲线变化的载荷的响应。

瞬态动力学分析——确定结构对随时间任意变化的载荷的响应,可以考虑与静力分析相同的结构非线性行为。

谱分析——是模态分析的扩展,用于计算由于随机振动引起的结构应力和应变(也叫作响应谱或 PSD)。

显式动力分析——ANSYS/LS-DYNA(显式动力学分析模块)可用于计算高度非线性动力学问题和复杂的接触问题。

专项分析——断裂分析、复合材料分析、疲劳分析。

1.2.2 ANSYS 结构分析过程

ANSYS 分析过程中 3 个主要的步骤:第一步,创建有限元模型,包括创建或读入几何模型、定义材料属性、划分单元(节点及单元);第二步,施加载荷进行求解,包括施加载荷及载荷选项、求解;第三步,查看结果,包括查看分析结果、检验结果,分析是否正确。

1.2.2.1 建立有限元模型

(1)指定工作文件名和工作标题

定义工作文件名,是用来识别 ANSYS 作业的,通过为分析的工程指定文件名,可以确保文件不被覆盖,因为 ANSYS 中所有的文件名是默认地设置为 file 的。ANSYS 的工作文件名可以通过如下的方式定义:

命令方法:/FILNAM

菜单操作方法:依次单击“Utility Menu > File > Change Jobname”菜单命令,定义工作文件名。

用下列命令或菜单方式定义工作标题:

命令方法: /TITLE

菜单操作方法: 依次单击“Utility Menu > File > Change Title”菜单命令, 定义工作标题。

(2) 定义单元类型和单元关键字

ANSYS 提供的每一种单元类型, 都有自己特定的编号和单元类型名, 如 PLANE42、SOLID45、SHELL163 等。单元关键字定义了单元的不同特性, 如轴对称、平面应力等, 用户需根据需求选择相应的单元类型, 并设置其关键字。

用下列命令或菜单方式定义单元类型:

命令方式: ET, ITYPE, Ename, KOP1, KOP2, KOP3, KOP4, KOP5, KOP6, INOPR

菜单操作方式: 依次单击“Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete”可以定义单元类型。

用下列命令或菜单方式定义单元关键字:

命令方式: KEYOPT

菜单操作方式: 依次单击“Main Menu > Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete”定义单元的关键字。

(3) 定义单元实常数

实常数指某一单元的补充几何特性, 如单元的厚度、梁的横截面积和惯性矩等, 指定了单元类型之后, 应根据单元类型指定相应的实常数。

用下列命令或菜单方式定义单元实常数:

命令方式: R, NSET, R1, R2, R3, R4, R5, R6

菜单方式:

Main Menu > Preprocessor > Loads > Load Step Opts > Other > Real Constants > Add/Edit/Delete

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Circuit > Builder > Mechanical > Mass

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Circuit > Builder > Mechanical > Spring > Nonlin Rotary

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Circuit > Builder > Mechanical > Spring > Nonlin Trans

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Circuit > Builder > Transducer > ElecMech

Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Circuit > Edit Real Cnst

Main Menu > Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete

Main Menu > Solution > Load Step Opts > Other > Real Constants > Add/Edit/Delete

(4) 定义材料属性

在所有的分析中都要输入材料属性, 材料属性根据分析问题的物理环境不同而不同, 如在所有结构分析中必须输入材料的弹性模量、泊松比; 在热结构耦合分析中必须输入材料的导热系数、线膨胀系数; 如果在分析过程中需要考虑重力、惯性力, 则必须要输入材料

的密度。

用下列命令或菜单方式定义材料属性：

命令方式：MP、TB

菜单操作方式：

Main Menu > Preprocessor > Loads > Load Step Opts > Other > Change Mat Props > Material Models

Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models

Main Menu > Solution > Load Step Opts > Other > Change Mat Props > Material Models

用户只需要按照模型格式输入相关数据即可定义常用材料和某些特定材料材料属性。除了磁场分析之外，在输入数据时，用户不需要指定 ANSYS 所用的单位，但要注意所有输入量的单位必须保持统一。

(5) 创建几何模型

ANSYS 软件几何建模通常包括两种方式，自底向上建模和自顶向下建模。

所谓自底向上建模，顾名思义就是由建立模型的最低单元的点到最高单元的体来构造实体模型。即首先定义关键点，然后利用这些关键点定义较高级的实体图元，如线、面、体。

ANSYS 软件允许通过汇集线面体等几何体素的方法构造建模。当生成一种体素时，ANSYS 程序会自动生成所有从属于该体素较低级的单元，这种一开始便由较高级的实体图元构造模型的方法就是所谓的自顶向下的建模方法。

菜单命令：Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create

布尔操作是指几何图元进行组合计算。ANSYS 的布尔操作包括 add, subtract, intersect, divide, glue 以及 overlap。它们不仅适用于简单的体素中的图元，也适用于从 CAD 系统传入的复杂几何模型。

图 1-1 所示的复杂的模型是一个方块与一个空心的球进行求交(intersect)布尔操作的结果。

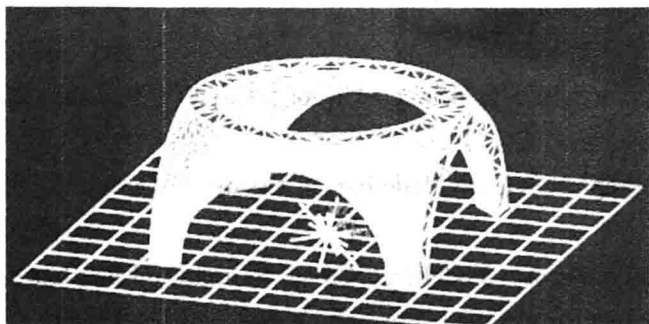


图 1-1 有限元复杂模型

菜单命令：Main Menu > Preprocessor > Modeling > Operate

(6) 进行有限元网格划分

有限元模型是将几何模型划分为有限个单元，单元间通过节点相连接，在每个单元和节点上求解物理问题的近似解。网格划分方法可参阅第 2 章相关内容。